



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Ryuichi SUGIZAKI, et al.

GAU:

SERIAL NO: 10/674,343

EXAMINER:

FILED: October 1, 2003

FOR: OPTICAL FIBER, RAMAN AMPLIFIER, AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e): Application No. Date Filed
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2002-288960	October 1, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Bradley D. Lytle

Registration No. 40,073

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26, 803

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 05/03)

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 1 0 月 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 8 8 9 6 0
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 8 8 9 6 0]

出 願 人 古河電気工業株式会社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 9 月 3 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



【書類名】 特許願

【整理番号】 A20330

【提出日】 平成14年10月 1日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 C03C 13/04
G02B 6/00
H04B 10/00

【発明の名称】 光ファイバおよびそれを用いた光伝送路

【請求項の数】 8

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内
【氏名】 杉崎 隆一

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内
【氏名】 八木 健

【特許出願人】
【識別番号】 000005290
【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】
【識別番号】 100094053
【弁理士】
【氏名又は名称】 佐藤 隆久

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 014890
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9006009

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバおよびそれを用いた光伝送路

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ケーブルカットオフ波長が 1430 nm 以下であり、
波長 1450 nm においてモードフィールド径 (MFD) が $7\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $9\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であり、かつ、伝送損失が 0.285 dB/km 以下であり、
波長分散値が $0.1\sim 4\text{ ps/nm}$ である、
光ファイバ。

【請求項 2】

ケーブルカットオフ波長が 1430 nm 以下であり、
波長 1450 nm においてモードフィールド径 (MFD) が $7\text{ }\mu\text{ m}$ 以上 $9\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であり、かつ、伝送損失 0.25 dB/km 以下であり、
波長分散値が $0.1\sim 4\text{ ps/nm}$ である、
光ファイバ。

【請求項 3】

上記光ファイバのうち波長 1550 nm の曲率 20 mm ($\phi 20\text{ mm}$) における曲げ損失増加が 5 dB/m 以下である、
請求項 1 または 2 記載の光ファイバ。

【請求項 4】

波長 1450 nm でのラマン利得効率 (ゲインエフィシエンシー) が $0.7(1/\text{W/m})$ 以上である、
請求項 1～3 いずれか記載の光ファイバ。

【請求項 5】

水素環境下での波長 1390 nm における伝送損失を 0.4 dB/km 以下に低減した、
請求項 1～4 いずれか記載の光ファイバ。

【請求項 6】

中心コア領域および中心コア領域の屈折率より低い屈折率のクラッド領域とを

有し、

前記中心コア領域と前記クラッド領域との間に、
前記クラッド領域の屈折率より低い屈折率を持つ第2のコア領域、および
前記クラッド領域の屈折率より高く前記中心コア領域の屈折率より低い屈折率
を持つ第3のコア領域
をさらに有する、
請求項1～5いずれか記載の光ファイバ。

【請求項7】

前記光ファイバのプリフォームを形成し、
該プリフォーム線引き後、重水素雰囲気にし、
その後、樹脂被覆して形成した、
請求項6記載の光ファイバ。

【請求項8】

請求項1～7いずれか記載の光ファイバを用いた分布増幅型ラマン光伝送路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【従来の技術】

本発明は、光通信に用いる光ファイバおよび光ファイバを用いた光伝送路に関する。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバ通信において、信号伝送距離を延ばし、残音を低減させることが可能な通信システムとしてラマン増幅型光伝送路が知られている。ラマン増幅型光伝送路としては、分布定数型ラマン増幅光伝送路および集中定数型ラマン増幅光伝送路が知られている。

【0003】

ラマン増幅について簡単に述べる。

一般に、光をガラスなどの物質に入射すると、その物質の分子振動や光子振動のために、元の波長よりやや長い波長の光が発生する。この光をラマン散乱光と

いう。さらに入射する励起光を強くすると位相の揃った強いラマン散乱光が発生する。これを誘導ラマン散乱光という。

入射される信号光と誘導ラマン散乱光との波長が一致していれば、誘導ラマン散乱光は信号光と同じ強弱の変化を受け、信号光を増幅する。このようにラマン増幅とは、強い励起光を光ファイバに入射したとき、材料である石英ガラスを構成する分子によって散乱された光（誘導ラマン散乱光）が入射時とは異なる波長に変換されて散乱されることを利用する光信号強度の増幅技術である。

ラマン増幅を用いた光ファイバ型増幅器は、このような光ファイバの中で発生する非線形光学現象に起因する増幅作用を利用したものである。

ラマン増幅は、光伝送路（光ファイバ）の中で生ずる増幅であるから、光伝送路に伝送光以外の増幅光を入射するシステムとも言える。

【0004】

図1に分布定数型ラマン増幅器を用いた光通信システム（伝送路）の1例を示す。図1に図解した分布定数型ラマン増幅器を用いた伝送路10は、第1および第2の励起光源（ポンプ）11、13と、光合波手段11、14と、光ファイバ（光伝送路）15とで構成されている。この分布定数型ラマン増幅光伝送路は本発明の実施の形態においても適用する。

なお、集中定数型ラマン増幅器は、たとえば、分散補償モジュールのような機器装置化された（たとえば、コイルに巻かれ中継局などに設置された状態の）光ファイバに増幅光を入射させるような装置構成の増幅器である。

【0005】

ラマン増幅器を用いた光伝送路としては、光ファイバ16の長手方向の光強度分布をより均一にするために、ラマン増幅のための励起光を光ファイバ16の前方（信号光の入力側と同じ方向）の第1の励起光源11からと、光ファイバ16の後方（信号光が出力される方向）の第2の励起光源13からとの両方から入力することが望ましい。これを双方向励起と呼ぶ。

【0006】

光ファイバ16が石英ガラス系で作製されている場合には、ラマン増幅の最大の利得ピークは、励起光の光周波数より13 T（テラ）Hz低い光周波数に存在

する。例えば、 $1.5\ \mu\text{m}$ 帯域の光通信システムでは、波長 1580 nm の信号光が、最大のラマン利得を得るためには、励起光を 1480 nm の波長に設定する必要がある。

【0007】

波長多重（WDM）光通信システムでは、短波長側の励起光が短波長側の信号光をラマン増幅し、一方、長波長側の励起光が長波長側の信号光をラマン増幅している。

【0008】

しかし、光通信システムにおいて、光ファイバの零分散波長が信号光の波長と励起光の波長の間に存在する場合には、信号光と励起光とで非線形現象である四光波混合（FWM）が信号光近傍に発生し、その四光波混合が伝送特性を劣化させる。

また、四光波混合の発生効率 η が大きくなると、四光波混合に搾取される励起光の光強度も大きくなり、信号光は大きなラマン利得を得られない。

さらに、信号光と励起光で発生する四光波混合の発生効率は、特に信号光と励起光が光ファイバ中を同方向に伝搬する場合に大きくなるので、双方向励起が不可能となり、最適な光通信システムを構築できないという問題がある。

【0009】

四光波混合により発生する光周波数 f_{fwm} は、 $f_{\text{fwm}} = f_i + f_j - f_k$ であることが知られている。ただし、 f_i 、 f_j 、 f_k はそれぞれ、信号光もしくは励起光の光周波数であり、 $i \neq k$ 、 $j \neq k$ である。

信号光と励起光とで四光波混合が信号光の近傍に発生する。

発生した四光波混合の光強度が大きい場合には、信号光の伝送特性が劣化する。この四光波混合の光強度は発生効率 η に比例し、発生効率 η は下記式（1）で表されることが知られている（例えば、MARI W. MAEDA, J. Lightwave Technology, vol. 8, no. 9, pp. 1402, 1990を参照）。

【0010】

【数 1】

$$\eta = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \Delta\beta^2} \left(1 + \frac{4e^{-\alpha L} \sin^2\left(\frac{\Delta\beta L}{2}\right)}{(1 - e^{-\alpha L})^2} \right) \quad \dots(1)$$

【0011】

ここで、 α は光ファイバ 16 の伝送損失、 L は光ファイバ 16 の長さである。
 $\Delta\beta$ は四光波混合の位相整合条件を表しており、下記式 (2) で与えられる。

【0012】

【数 2】

$$\begin{aligned} \Delta\beta &= \beta_i + \beta_j - \beta_k - \beta_{\text{fwm}} \\ &\cong \frac{\pi\lambda^4}{c^2} D_s \{ (f_i - f_0) + (f_j - f_0) \} (f_i - f_k) (f_j - f_k) \end{aligned} \quad \dots(2)$$

【0013】

ここで、 β は伝搬定数、 c は光の速度、 λ は波長、 D_s は光ファイバ 16 の分散スロープ、 f_i , f_j , f_k (ただし、 $i \neq k$, $j \neq k$) は信号光もしくは励起光の光周波数、 f_0 は光ファイバ 16 の零分散波長を光周波数に換算したものである。
 式 (2) の近似は、信号光と励起光がファイバ中を同方向に伝搬する場合である。

【0014】

式 (1) と式 (2) から、光ファイバ 16 の零分散波長が、信号光と励起光の間にある場合には、信号光と励起光で発生する四光波混合の発生効率が大きくなり、信号光の伝送特性は四光波混合によって大きく劣化する。

【0015】

E r ドープ光ファイバを用いた光増幅装置 (E D F A) により、通常の D W D M (高密度波長分割多重 (Dense Wavelength Division Multiplexing)) 通信は主に C バンドと呼ばれる波長 1 5 3 0 nm から 1 5 6 5 nm の帯域の信号を中心に用いた通信が行われている。さらに、近年は L バンドと呼ばれる波長 1 5 6 5 nm から 1 6 2 5 nm の帯域の信号を利用した通信も盛んに行なわれている。

この 2 つのバンドを使用したラマン伝送路を構築するためには最短波長よりも 1 0 0 nm 程度低いところに励起光 (ポンプ光) を入力する必要がある。このため、光伝送路は、1 5 3 0 nm よりも 1 0 0 nm 短波長の 1 4 3 0 nm から 1 6 2 5 nm の間でゼロ分散波長を持つてはいけないことを示している。

【0016】

ゼロ分散波長を含んだ伝送路を用いる際の対策として、励起光の強度を小さくすることが挙げられるが、これはラマン増幅の利得の低下につながるため、良い解決手段にはならない。

また、励起帯の分散は大きければよいというものではなく、分散は 4 ps/nm/km 程度に留めておくことが望ましい。その理由は、1 4 3 0 nm から 1 6 2 5 nm の範囲に零分散波長が存在しないファイバにおいては一般的には 1 4 3 0 nm 以下に零分散波長が存在する場合が多く、その場合 1 4 3 0 nm から 1 6 2 5 nm の波長帯域では分散スロープは正であるため、ポンプ広帯域の分散がある程度以上大きい、例えば 4 ps/nm/km 以上あると信号帯域での分散が大きくなりすぎ、信号の波形劣化が大きくなる。従って、ポンプ光波長帯域に於ける分散は 4 ps/nm/km 以下であることが望ましい。

【0017】

上記の課題を解決する手段として、1. 3 μ m 帯に零分散波長を持つ、通常のシングルモード光ファイバ (S M F) を伝送路に用いることも挙げられるが、この S M F では、ラマン利得の大きさに関与する関係値 n_2/A_{eff} が比較的小さいため、伝送路の損失を十分補償できるほどのラマン利得を得ることができない。 n_2 はカー係数であり、 A_{eff} はシングルモード光ファイバの有効コア断面積を示す。

【0018】

十分なラマン増幅利得を得るためには通常の分散シフト光ファイバ (DSF) と同等の 0.75 (1/W/m) 以上のラマン利得効率 (ラマンゲインエフィシェンシー) を持つ光ファイバを用いることが望ましい。

【0019】

他方、SMFを用いると、1.5 μm帯域の信号光は約+17 ps/nm/km という大きな分散を受け、その結果、この分散に起因してパルス広がりによる符号間非線形効果 (XPM: 単一信号で発生するもので、スペクトル成分の広がりにより、前の符号 (信号) が後の符号 (信号) と干渉を起こすもの) が起こるため、SMFを用いることは良い解決手段にならない。

十分なラマン増幅利得を得るためには、上述した関係式 n_2/A_{eff} から、有効コア断面積 A_{eff} を小さくすることが望ましいのは明らかである。しかし、ポンプ光を効率よく伝送路に注入するためには通常の励起光源におけるポンプレーザのピグテール、および、光カップラなどの光部品に用いられている SMF との融着接続特性が重要である。

通常の SMF は波長 1430 nm 付近で 9.5 μm 程度のモードフィールド径 (MFD) をもつ。また、MFD の異なる光ファイバの接続効率は以下のように見積もることができる。

【0020】

【数3】

$$\eta = ((2 \times W_1 \times W_2) / (W_1^2 + W_2^2))^2$$

ただし、 η は結合効率であり、

W_1, W_2 : それぞれのモードフィールド半径である。

.. (3)

【0021】

W_1 を 9.5 μm とすると 90% 以上の結合効率で伝送路に光を到達させる場合、モードフィールド径 (MFD) は 7 μm 以上必要となる。

【0022】

したがって、波長 1450 nm でモードフィールド径 (MFD) を 7 μm 以上にしつつ分散が 0.1 ps/nm/km 以上 4 ps/nm/km 以下となり、ラマンゲインエフ

ィシェンシーが $0.7 \times 10^{-4} (1/W/M)$ 以上とする光ファイバが必要になる。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】

伝送損失は長距離伝送路として代表的な距離 80 km の伝送路を用いた場合、伝送路での伝送損失を全体で 20 dB 以内に抑えるためには伝送損失の比率は 0.25 dB/km 以下でなければならない。ラマン増幅を行うので、多少の伝送損失はカバーできるが、雑音の発生などを考慮すると、信号領域での損失は 0.25 dB/km 以内に抑える必要がある。

また、光ファイバには 1390 nm 付近に水酸基 (OH 基) に起因する吸収損失があることが知られている。1390 nm での伝送損失が 1 dB を超える光ファイバでは吸収ピークの裾の影響により 1430 nm での損失低減も出来ず、励起光源内のポンプの損失が大きく、高価な励起光源と大きな電力を要してしまい、コスト的に問題がある。また、光ファイバケーブル内に発生した水素により 1390 nm の伝送損失が 10 % 以上増加すると伝送線路に入力するポンプ光パワーを増やさなければシステムダウンにつながるという問題を持っている。

【0024】

偏向モード分散 PMD も高速通信の妨げとなることが知られている。通常のファイバケーブルと同様に PMD は $0.5 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以内でなければ、PMD 補償なしでの高速通信は不可能であることが知られている。さらに 40 GB/s (ギガビット/秒) クラスの伝送レートになると PMD として $0.2 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下も必須の条件となるが、光ファイバの構造が複雑になるほど、PMD の低減が困難になってきている。

【0025】

上述した観点から、本発明の目的は、C バンド帯および L バンド帯における分布ラマン増幅伝送路の特性を向上させ、低励起パワで有効な増幅を実現する、光信号伝送システムおよびそれに用いる光ファイバを提供することにある。

【0026】

本発明の他の目的は、励起光の強度を低下させずに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させ得る、光信号伝送システムおよび

それに用いる光ファイバを提供することにある。

【0027】

本発明のさらに他の目的は、OH基に起因する波長1390nm付近の伝送損失を低減し得る、光信号伝送システムおよびそれに用いる光ファイバを提供することにある。

【0028】

本発明の他の目的は、偏向モード分散PMDを低減しながらカー係数を増大させラマン利得を増大させ得る、光信号伝送システムおよびそれに用いる光ファイバを提供することにある。

【0029】

本発明のさらに他の目的は、全ての信号光が符号間非線形効果を受けずに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させ得る光信号伝送システムを提供することにある。

【0030】

本発明の他の目的は、信号光はシングルモード光ファイバ(SMF)で得られるよりも大きなラマン利得を得るとともに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させ得る光信号伝送システムを提供することにある。

【0031】

本発明のさらに他の目的は、信号光と励起光で発生する四光波混合の強度を低下させ、前方励起、もしくは、双方向励起が可能な光通信システムを提供することを目的とする。

【0032】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、1450nmでモードフィールド径(MFD)を7 μ m以上にしつつ、分散が0.1 ps/nm/km以上で4 ps/nm/km以下となり、ラマンゲインエフィシエンシーが0.75 $\times 10^{-4}$ (1/W/M)以上としケーブルカットオフ波長が所定波長以下である光ファイバを用いる。

そのため、コア領域および、コア近傍のクラッドまでを一括で合成して光ファ

イバを形成し、OH基に起因する1390nm付近の損失を低減する。

【0033】

光ファイバの零分散波長を、励起光の波長以下に設けることは、信号光が受けるラマン増幅の利得を低下させずに、信号光と励起光で発生する四光波混合の強度を抑圧できる。このように、四光波混合の強度が抑圧できるので、双方向励起の光通信システムが構築できる。

【0034】

励起光が受ける光ファイバの分散の絶対値が4 ps/nm/km以下であるため、分散による励起光の波形劣化を防止し、増幅度の変動を防止できる。

【0035】

【発明の実施の形態】

本発明の光信号伝送システムおよび光ファイバの好適な実施の形態について述べる。

図1は上述したように、本発明の1実施の形態として、分布定数型ラマン増幅器を用いた光通信システム（伝送路）の構成図である。

図1に図解した分布定数型ラマン増幅器を用いた伝送路10は、第1および第2の励起光源（ポンプ）11、13と、光合波手段12、13と、光ファイバ（光伝送路）16とで構成されている。

本実施の形態においても、光ファイバ16の長手方向の光強度分布をより均一にするために、ラマン増幅のための励起光を光ファイバ16の前方（信号光の入力側と同じ方向）の第1の励起光源11からと、光ファイバ16の後方（信号光が出力される方向）の第2の励起光源13からとの両方から入力する。すなわち、双方向励起を行なう。

【0036】

図2は図1に図解した分布定数型ラマン増幅光伝送路10を光信号伝送システムに適用した構成図である。

図2に図解した光信号伝送システムは、図1に図解した分布定数型ラマン増幅器を用いた伝送路と同じ構成の伝送路100、200を送受信両端に配置し、両者の間を光ファイバ300で結んでいる。分布定数型ラマン増幅器を用いた伝送

路 100、200 は、図 1 に図解した同じ構成をしている。伝送路 100、200 内の光ファイバ 16 と、光ファイバ 300 とは同じものである。

【0037】

図 3 (A)、(B) は、図 1 および図 2 に図解した光伝送路に適用する光ファイバ 16、300 の断面構成図および屈折率分布プロファイルを示す図である。

図 3 (A)、(B) に図解した光ファイバは、直径 a 、屈折率 n_1 の中心コア領域（または第 1 コア領域）1 と、中心コア領域 1 の外周に形成された直径 b 、屈折率 n_2 の第 2 コア領域 2 と、第 2 コア領域 2 の外周に形成された直径 c 、屈折率 n_3 の第 3 コア領域 3 と、第 3 コア領域 3 の外周に形成された直径 d 、屈折率 n_4 のクラッド領域 4 と、図解しないクラッド領域 4 の外周に形成された樹脂被覆とを有する。

【0038】

屈折率の大小関係は、 $n_1 > n_3 > n_4 > n_2$ である。

クラッド領域 4 は、シリカをベースにした部分であり、クラッド領域 4 の屈折率 n_4 を基準として、屈折率 n_4 より屈折率が高い中央コア領域 1 および第 3 コア領域 3 にはシリカに屈折率を高めるドーパント、たとえば、ゲルマニウムが添加してあり、屈折率 n_4 より屈折率が低い第 2 コア領域 2 にはシリカに屈折率を低めるドーパント、たとえば、フッ素が添加してある。

比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 3$ は下記式 (4) で規定される。

【0039】

【数 4】

$$\Delta 1 = \frac{n_1^2 - n_4^2}{2n_1^2} \simeq \frac{n_1 - n_4}{n_1}$$

$$\Delta 2 = \frac{n_2^2 - n_4^2}{2n_2^2} \simeq \frac{n_2 - n_4}{n_2}$$

$$\Delta 3 = \frac{n_3^2 - n_4^2}{2n_3^2} \simeq \frac{n_3 - n_4}{n_3}$$

... (4)

【0040】

このような光ファイバは、第1～第3コア領域、および、第3コア領域3の近傍のクラッド領域4までを一括で合成し、その後、線引きして光ファイバを形成することが望ましい。その後、重水素（D₂）雰囲気におけば、水酸基（OH基）が侵入（混入）する機会がないので、OH基に起因する1390nm付近の損失を低減することができる。

【0041】

実施例

上記の方法で作製した図3（A）、（B）に図解した光ファイバのパラメータおよび特性を下記表1に示す。図3（A）、（B）に示す構成の光ファイバとして、比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 3$ 、直径a, b, c（ μm ）を変化させて6本の光ファイバを作製した。

【0042】

【表 1】

表 1 作製したファイバの特性

	$\Delta 1$ (%)	$\Delta 2$ (%)	$\Delta 3$ (%)	a (μm)	b (μm)	c (μm)	λ_{ZD} (nm)	D (ps/nm/km)	LOSS (dB/km)	MFD (μm)	gR/A_{eff} (1/w)	LOSS $_{\phi 20}$ (dB/m)	λ_c (nm)
1	0.6	-0.3	0.3	7.10	12.90	16.77	1415	1.23	0.245	7.09	0.79	3.4	1253
2	0.6	-0.3	0.1	6.90	11.50	14.95	1406	1.93	0.254	7.01	0.81	2.4	863
3	0.6	-0.3	0.2	7.32	12.20	18.30	1401	1.96	0.282	7.21	0.76	4.5	1372
4	0.55	-0.5	0.2	7.77	11.10	16.65	1366	1.93	0.255	7.40	0.73	4.6	1188
5	0.5	-0.5	0.4	8.26	12.70	16.51	1372	3.06	0.243	7.69	0.67	4.8	1397
6	0.55	-0.5	0.3	7.67	11.80	15.34	1374	3.10	0.247	7.24	0.76	4.8	1290

分散D、伝送損失LOSS、モードフィールド径D、 gR/A_{eff} の測定波長:1450nm
 曲げ損失LOSS $_{\phi 20}$ の測定波長:1550nm

【0043】

表 1 は、比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 3$ 、直径 a, b, c (μm) を変化させて作製した 6 本の光ファイバについて、零分散波長 λ_{ZD} (nm)、波長 1450 nm における

分散値 D (ps/nm/km)、波長 1450 nm における伝送損失 $LOSS$ (dB/km)、波長 1450 nm におけるモードフィールド径 MFD 、波長 1450 nm におけるラマン利得効率 gR/A_{eff} 、曲率 20 mm ($\phi 20$) で曲げたときに波長 1550 nm における曲げ損失 $LOSS_{\phi 20}$ (dB/km)、および、カットオフ波長 λ_c を示す。

【0044】

曲げ損失は 1550 nm において、直径 20 mm の曲げ ($\phi 20$ mm 曲げ) 条件下で伝送損失が 5 dB/m 以下であれば L バンドでも使用可能な光ファイバケーブルを構成できることが知られている。今回の試作光ファイバは全てこの条件を満たしており L バンドまでの伝送が可能である。つまり表 1 に示したすべての光ファイバは C 、 L 両方のバンドでの伝送が可能である。

【0045】

また、実施した全て光ファイバは 1450 nm でのモードフィールド径 (MFD) が $7\ \mu\text{m}$ 以上であり、1530 nm の信号光をラマン増幅するための励起光を効率が良く使用できることを示している。

【0046】

分散値 D も $1 \sim 4$ ps/nm/km の範囲にあり、波長分散による励起光の波形劣化を発生させずに安定した増幅を可能にしている。

【0047】

図 3 は表 1 に示した 1 番目 (#1) のファイバの波長分散特性を示す。横軸は波長を示し、縦軸は波長分散値を示す。

【0048】

全ての光ファイバの偏向モード分散 PMD は $0.1\ \text{ps}/\text{km}^{1/2}$ 以下であり、 PMD にともなう波形劣化も認められなかった。

光ファイバの実効長 L_{eff} は下記式で表される。

【0049】

【数 5】

$$L_{eff} = (1 - \exp(-\alpha * L)) / \alpha$$

.. (5)

【0050】

ただし、 α は光ファイバの損失を示し、 L は光ファイバの長さを示す。

60 km 伝送路において効率よく励起光を使用するために光ファイバの実効長 L_{eff} は 15 km 以上であることが望ましい。これを満たす損失 α は 0.285 dB/km 以下に相当する。

【0051】

表 1 に示した光ファイバは伝送損失に関しては全て 0.285 dB/km 以下であり、目標を実現している。

【0052】

また、1 番目、5 番目、6 番目（# 1, 5, 6）の光ファイバは、伝送損失が 0.25 dB/km を実現しており、光ファイバの実効長 L_{eff} は 17 km 以上であり、これらの光ファイバをさらに効率のよい伝送媒体として使用可能になっている。

【0053】

C, L バンド伝送において、OH 基混入による 1390 nm 付近の伝送損失は殆ど問題にはならない。しかしながら、ロススペクトルの裾引きがあり、1390 nm 付近で伝送損失が増加すると 1450 nm における伝送損失も増加してしまう。1450 nm 付近の伝送損失はレイリー散乱によるもの、構造不正等によるものが支配的であるものの、1390 nm の損失ピークの 3% 程度の損失増加を与える。OH 基に起因する伝送損失増加がない状態での伝送損失はほぼ、0.247 dB 程度であるので 0.1 dB/km 程度の OH 基に起因する伝送損失増加で 1450 nm における伝送損失が 0.25 dB/km を超えてしまう。

1390 nm 付近の伝送損失は OH 基に起因する伝送損失増加がなくても 0.28 dB/km であり、0.4 dB/km まで伝送損失が増加すると 1450 nm における伝送損失を 0.25 dB/km までに抑制するギリギリの値となってしまう。このため、1390 nm における伝送損失は 0.4 dB/km に抑える必要がある。

【0054】

図 5 に 1 番目（# 1）の光ファイバの波長損失特性を示す。図 5 は横軸に波長を示し、縦軸に伝送損失を示す。

また、ケーブル内での水素発生に起因する OH 伝送損失増加も抑制されなけれ

ばならない。このため、1～6番目（#1～6）の全ての光ファイバは、プリフォーム（光ファイバ母材）から線引きした後で、樹脂被覆してケーブル化前にD2雰囲気におき水素との結合を防止した。このため、樹脂被覆した最終製品の光ファイバは水素雰囲気においても1390nmにおける伝送損失は増加しなかった。

【0055】

100kmの1番目（#1）の光ファイバを用いて、実際に、図1に図解したラマン増幅伝送路を構成した。この光ファイバの伝送損失は1550nmにおいて0.20dB/kmであり、図2に例示した分布定数型ラマン増幅光伝送路自体の損失は20dBである。実際の伝送路では接続損失や、光部品の損失が加わり28dBの損失となった。この光ファイバのラマン利得効率（ラマンゲインエフィシエンシー）は0.79(1/W/km)であり、0.3W（ワット）の励起光を使用してもファイバへの入射パワーは0.27Wとなり、14dBの利得が得られた。これにより、15dB以下の安価な、Erドープ光ファイバを用いた光増幅装置（EDFA）のみで損失補償を可能にできた。

【0056】

本発明の実施の形態に際しては、上述した各種の条件を満たす構成および屈折率プロファイルを持つ光ファイバであればよく、図3（A）、（B）の構成を持つ光ファイバには限定されない。

【0057】

【発明の効果】

本発明は上述した目的を達成している。

すなわち、本発明によれば、Cバンド帯およびLバンド帯における分布ラマン増幅伝送路の特性を向上させ、低励起パワーで有効な増幅を実現することができる。

【0058】

また本発明によれば、励起光の強度を低下させずに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させることができる。

【0059】

さらに本発明によれば、OH基に起因する波長1390nm付近の伝送損失を低減することができる。

【0060】

本発明によれば、偏向モード分散PMDを低減しながらカー係数を増大させラマン利得を増大させ得ることができる。

【0061】

本発明によれば、全ての信号光が符号間非線形効果を受けずに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させることができる。

【0062】

本発明によれば、信号光はシングルモード光ファイバ(SMF)で得られるよりも大きなラマン利得を得るとともに、信号光と励起光で発生する四光波混合による伝送特性の劣化を低減させ得る光信号伝送システムを提供することができる。

【0063】

本発明によれば、信号光と励起光で発生する四光波混合の強度を低下させ、前方励起、もしくは、双方向励起が可能な光通信システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は本発明の伝送路の1例としての分布定数型ラマン増幅光伝送路の構成図である。

【図2】

図2は図1に図解した分布定数型ラマン増幅光伝送路を用いた光信号伝送システムの構成図である。

【図3】

図3(A)、(B)は図1および図2に図解した伝送路に用いる光ファイバの1例の構成および屈折率プロファイルを示す図である。

【図4】

図4は表1に示した1番目の光ファイバの波長分散の例を示すグラフである。

【図 5】

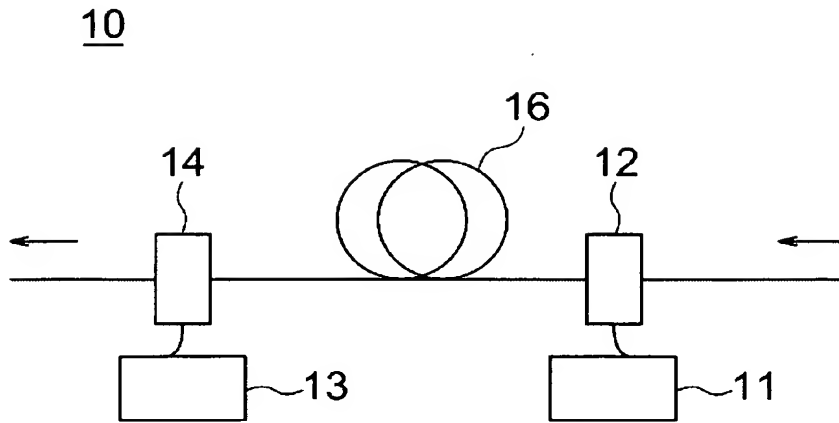
図 5 は表 1 に示した 1 番目の光ファイバの波長と伝送損失の例を示すグラフである。

【符号の説明】

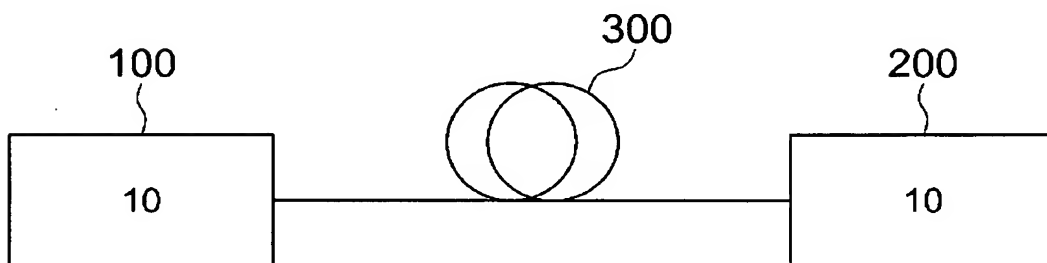
- 1・・・中心（第 1）コア領域
- 2・・・第 2 コア領域
- 3・・・第 3 コア領域
- 4・・・クラッド領域

【書類名】 図面

【図 1】

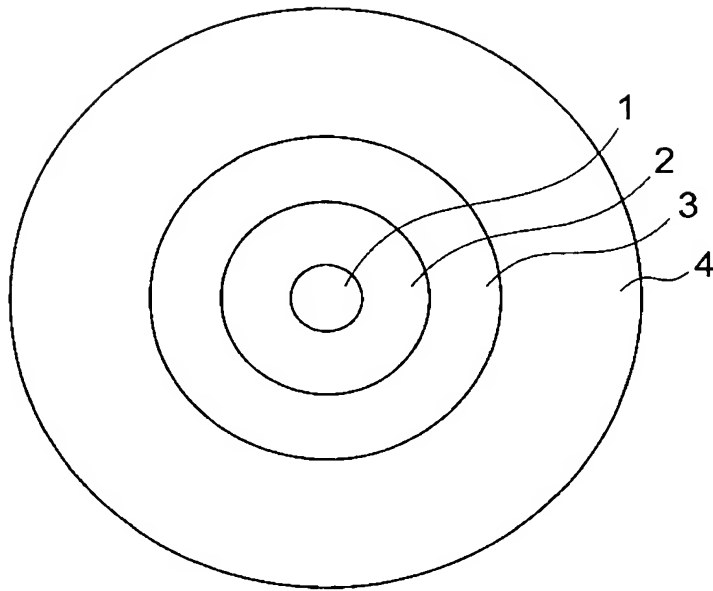


【図 2】

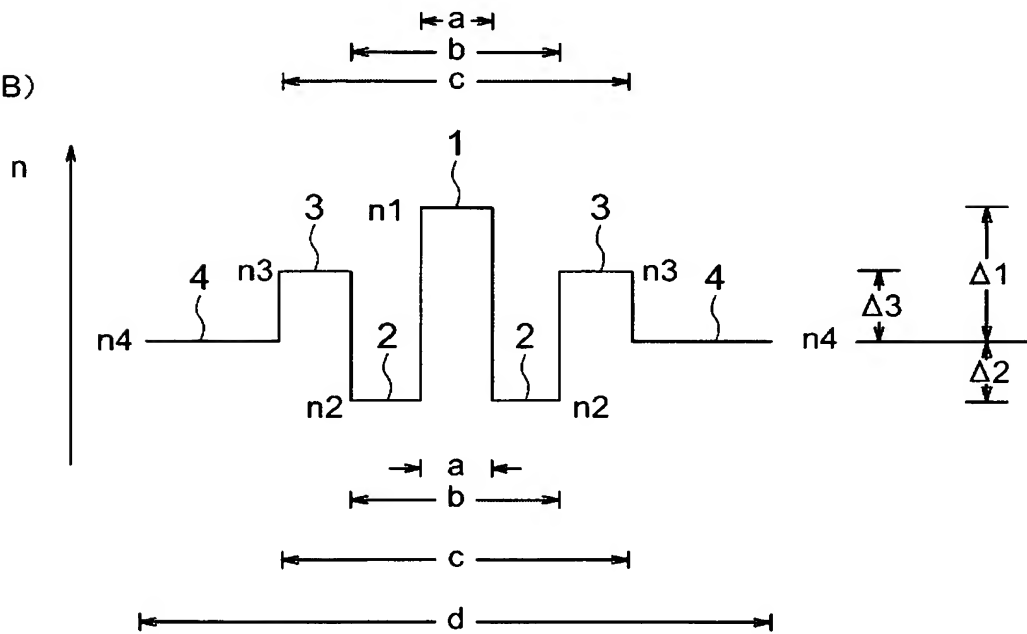


【図 3】

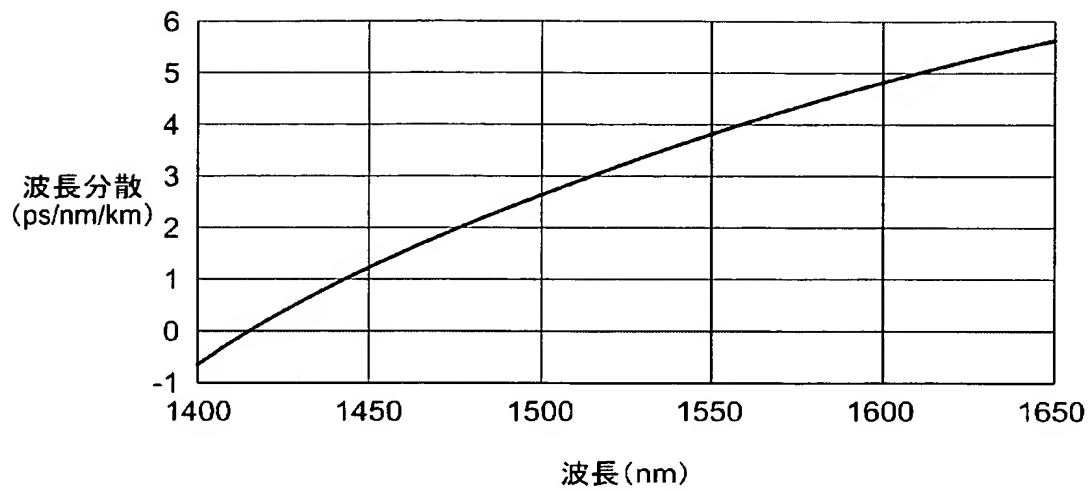
(A)



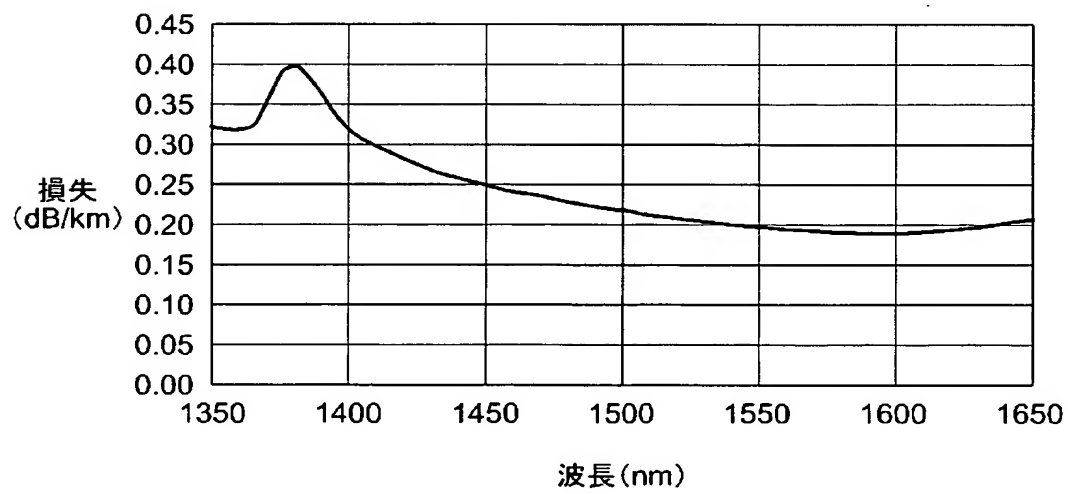
(B)



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 Cバンド帯およびLバンド帯における分布ラマン増幅伝送路の特性を向上させ、低励起パワで有効な増幅を実現する、光信号伝送システムおよびそれに用いる光ファイバを提供する。

【解決手段】 光信号伝送システムとしては、分布定数型ラマン増幅光伝送路を用いる。その分布定数型ラマン増幅光伝送路における光ファイバは、光ファイバは、ケーブルカットオフ波長が1 4 3 0 nm以下であり、波長1 4 5 0 nmにおいてモードフィールド径（M F D）が7 μ m以上9 μ m以下であり、かつ、伝送損失が0 . 2 8 5 dB/km 以下であり、波長分散値が0 . 1 ~ 4 ps/nm である。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 2 - 2 8 8 9 6 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 9 0]

1 . 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号

氏 名

古河電気工業株式会社